

УДК 669.18

В. Б. Охотский

Национальная металлургическая академия Украины, Днепропетровск

Мал золотник, да дорог... Размеры

*Составлены модели образования капель металла в шлаковой фазе сталеплавильной ванны.***Ключевые слова:** конвертер, продувка, мартеновская печь, корольки, томасовский конвертер, металлошлаковая эмульсия, сталеплавильные процессы

История и состояние вопроса

Молодость М. Я. Меджибожского была нелегкой. Рано потеряв отца, он начал свой жизненный путь рабочим в небольшом селе в тяжелые 20-е годы, но тяга к знаниям победила все невзгоды. Окончив Енакиевский металлургический техникум (1931-1933), Донецкий индустриальный институт (1933-1938), проработав на Макеевском и Донецком (1938-1941), Златоустовском (1941-1946) металлургических заводах, а также аспирантом кафедры металлургии стали ДМетИ, ассистентом (1948-1949), доцентом (1949-1961), профессором кафедры металлургии стали СМИ (1961-1963), начальником сталеплавильной лаборатории ДонНИИ-ЧерМета, зав. кафедрой металлургии стали ЖдМИ (1966-1976), он стал одним из ведущих отечественных специалистов в металлургии стали.

Продувка сталеплавильной ванны, окислительные процессы, протекающие в ней, и ее неравномерность, перемешивание и усвоение твердых материалов жидкими фазами стали предметом научного поиска и технологических решений М. Я. Меджибожского. Но особое место в его исследованиях заняло изучение формирования и физико-химических процессов диспергированных в шлаке капель металла, корольках, определяющих массообменные процессы в системе металл-шлак сталеплавильной ванны.

Такие вопросы давно привлекали внимание специалистов. Так, например, бессемеровский процесс возник в 1856 г., а в 1879 г. им уже заинтересовались в США и в 1927 г. – на заводе им. Г. И. Петровского. Кроме того, ученые изучали и другие сталеплавильные процессы: томасовский (IRSID, Франция, 1954), малобессемеровский (Германия, 1919); беспродувочный, кислый и основной мартеновские (Великобритания, 1919, 1925; Германия, 1922), а также и ЦНИИЧМ, НТМК, КПИ, МИСиС; продувку мартеновской ванны кислородом – на НТМК, в ЖдМИ и ДонНИИЧМ, ДСПА, ЧССР (1971).

Первый конвертер верхнего кислородного дутья запустили в 1952 г., а уже в 1963 г. поведение корольков изучали в США, в 1964 г. – в CNRM, 1965 г. – в Германии, 1968 г. – в IRSID, Великобритании и Болгарии. В нашей стране свой вклад в исследование этих процессов внесли сотрудники ДМетИ, СМИ, МК им. Ильича, ДонНИИЧМ, УПИ, ЖдМИ, МИСиС,

ЦНИИЧМ и др. Возникновение новых процессов вызвало необходимость их изучения в МИСиС (рециркуляционный, 1957), IRSID (непрерывный, 1969), ЧПИ (аргоно-кислородное рафинирование, 1995). Эти вопросы оказались настолько важными, что возникло холодное (ДметИ, 1939 – МИСиС, ДонНИИЧМ, ЖдМИ) и горячее (УПИ, 1970 – ДонНИИЧМ, Великобритания) моделирование соответствующих физико-химических процессов.

Начав изучение последних, в 1952 г. М. Я. Меджибожскому удалось экспериментально доказать, что в массообменные процессы с корольками вовлекается не только шлак, но и расположенная над ним газовая фаза, в которую они выбрасываются. Это привело к пересмотру механизма передачи кислорода в металл из окислительной газовой фазы.

К королькам, эмульгированным в шлаке и определяющим процессы десульфурации и дефосфорации при выплавке, внепечной обработке и разливе стали, в полной мере применима старинная поговорка «Мал золотник, да дорог...».

Модель процесса

М. Я. Меджибожский первым подтвердил значимость не только массовой доли содержания корольков в шлаке k , но и их размеров d [1]. Последние формируются при кипении сталеплавильной ванны в процессе прохождения газовых пузырей размерами D через границу раздела металл-шлак.

В соответствии с уравнением Нуссельта [2], толщину пленки металла, переносимой пузырьком, можно выразить уравнением

$$\delta = (3\eta_1 u / \rho_1 g)^{1/2}, \quad (1)$$

где ρ_1 , η_1 – плотность и динамическая вязкость металла; u – скорость всплывания пузыря; g – гравитационное ускорение.

Принимая для барботажа сталеплавильной ванны отдельными пузырями $u \approx (gD/2)^{1/2}$ [3], получают

$$\delta = (81\eta_1^2 D / 2\rho_1^2 g^2), \quad (2)$$

При продувке ванны струей с расходом газа q в соответствии с [3] определяют

$$\delta = (3\eta_1^2 k_D^4 q^{1/10} (T/273)^{1/12} / 2^{1/4} \rho_1^{1/9} g^{3/10}), \quad (3)$$

где $k_D = 1,1835$; T – температура ванны, К.

В зависимости от режима движения пузырьков при входе в шлак и от физических свойств металла и шлака пленка металла может превращаться в корольки размерами $d \approx \delta$ или стекать в кормовую часть пузыря, превращаясь в каплю размером

$$d = (6D^2\delta)^{1/3}. \quad (4)$$

На рис. 1, а результаты моделирования образования фактических корольков $d_{\text{ф}}$ в системе тяжелая фаза – легкая фаза при барботаже отдельными пузырями холодных жидкостей и расплавов (ртуть, свинец, медь) [4] сопоставлены с рассчитанными d_p по (4). Несмотря на некоторые отклонения d_p от линии равных значений I , в целом соответствие можно считать удовлетворительным.

При беспродувочном кипении металла в подовом агрегате со скоростью выгорания углерода (V_c , %/ч), используя экспериментально найденную зависимость ($D = 15V_c$, см), на рис. 1, б применительно к работам [1, 5] сопоставлены экспериментально найденный диапазон значений d с линиями I и II , рассчитанными по (2) и (4). На практике при $V_c = 0,25-1,80$ % С/ч, размер корольков в среднем соответствует модели (2), в отдельных случаях приближаясь к модели (4). Значительный диапазон их размеров связан со взрывом корольков при взаимодействии с окислительным шлаком.

При продувке ванны кислородом в ЭДП [7] (линия I на рис. 1, в) и МП [8-9] (точки) величина корольков соответствует моделям (2) и (4) – линии I и II как по характеру зависимости размера корольков от расхода кислорода на одно сопло, так и по порядку величины.

Продувку в томасовских конвертерах (Т) через игольчатое и в бессемеровских (Б) через фурменное днище можно проанализировать по уравнениям (2) и (4) соответственно при расходе дутья q на одно сопло и одну фурму. На рис. 1, г представлены экспериментальные данные о размере корольков в шлаке при продувке в томасовском [8] и бессемеровском конвертерах садкой 20 т [9], а также о размере капель, выносимых из 24-тонного конвертера, которые соответствуют результатам расчета по аналитическим выражениям (2) и (4) по данным автора (линии I и II).

Размеры корольков в шлаке при продувке в конвертерах верхнего кислородного дутья садкой 50 кг, 1, 28, 35 и 125 т, в том числе при различном составе чугуна и интенсивности продувки, представлены на рис. 2. Их средние величины (точки) лучше соответствуют расчетам по (2) (линия I), но верхний предел диапазона приближается к линии II (4). С ними согласуются данные лабораторного эксперимента [10], проведенного в близком к промышленному режиму глубокого проникновения (область А, рис. 2).

Разбрызгивание чугуна при обдуве его поверхности в режиме открытого кратера исследовали в работе [11]. В этом случае согласно модели образования и роста амплитуды α капиллярных волн [12] с условием, что за время их прохождения по глубине кратера h со скоростью капиллярной волны ее амплитуда станет равной длине волны λ , с

минимальным ростом амплитуды до величины $\alpha \approx \lambda$ и с образованием капель размера d получают

$$d \approx \lambda = 2^{7/3} 3^{1/3} \pi \eta_1^{2/3} / \beta_\sigma^{1/3} g^{1/3} \rho_1^{1/3}, \quad (5)$$

где $\beta_\sigma = 0,3$.

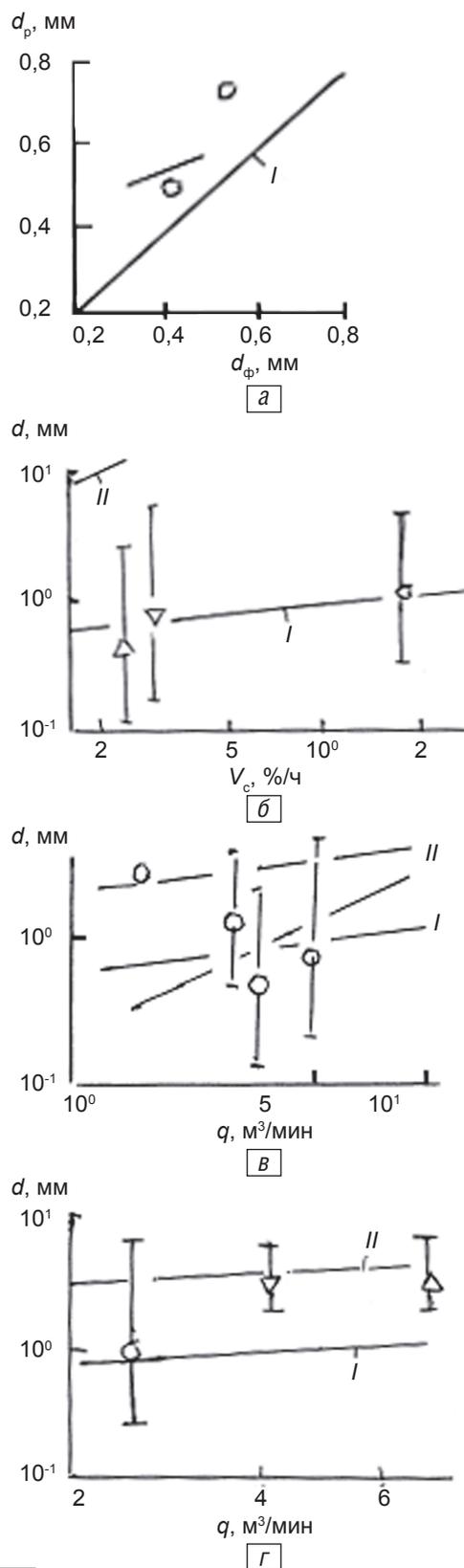


Рис. 1. Размеры эмульгированных капель: при холодном моделировании [4] (а); металла в беспродувочных подовых процессах [1, 4] (б); в продувочных подовых процессах [7, 8] (в); при донной продувке в конвертере [10, 11] (г)

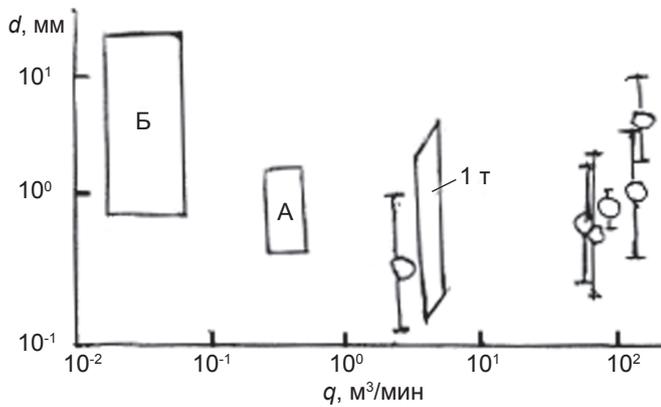


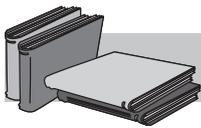
Рис. 2. Влияние расхода дутья на одно сопло на размеры эмульгированных капель

На рис. 2 данные [11] представлены областью Б, расположенной выше линии III, которая отвечает уравнению (5), описывающему начало разбрызгивания.

Приведенные данные подтверждают мнение М. Я. Меджибожского, что корольки в шлаке при продувке образуются в результате разрушения пузырей монооксида углерода на поверхности ванны [13].

Выводы

Составлены модели размеров капель металла в металлошлаковой эмульсии сталеплавильных процессов, расчеты по которым дают результаты, соответствующие экспериментальным данным.



ЛИТЕРАТУРА

1. Меджибожский М. Я. // Сталь. – 1952. – № 7. – С. 586-589.
2. Кутателадзе С. С., Стырикович М. А. Гидродинамика газожидкостных систем. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.
3. Охотский В. Б. Модели металлургических систем. – Днепропетровск: Системные технологии, 2006. – 287 с.
4. Poggi D., Minto R., Davenport V. G. // J. Metals. – 1969. – № 11. – P. 40-45.
5. Челищев Е. В. // Применение кислорода в металлургии. – М.: Металлургиздат, 1957. – С. 217-230.
6. Mullholland E. W., Hazeldean G. S. F., Davies M. W. // Jisi. – 1973. – V. 21, № 9. – P. 632-638.
7. Современные проблемы электрометаллургии стали / А. И. Строганов, Ю. А. Пыленов, С. Т. Ушаков, А. А. Абрамов. – Челябинск: УПИ, 1973. – С. 78-85.
8. Kozakevitch P., Leroy P. // Rev. Met. – 1954. – № 3. – S. 203-209.
9. Афанасьев С. Г. Исследование бессемеровского процесса. – М.: Металлургиздат, 1957. – 110 с.
10. Kitamura S., Okohira K. // Jisi Jap. – 1990. – V. 76, № 1. – P. 199-206.
11. Koria S. C., Lange K. // Met. Trans. – 1984. – V. 15 B, № 1. – P. 109-116.
12. Mayer E. // ARS J. – 1961. – V. 31, № 12. – 1783-1785.
13. Меджибожский М. Я. Интенсификация мартеновской плавки вдуванием воздуха в ванну. – М.: Металлургиздат, 1959. – 192 с.

Анотація

ОХОТСЬКИЙ В. Б.

Малій золотник, але дорогий... Розміри

Запропоновано моделі утворення крапель металу в шлаковій фазі сталеплавильної ванни

Ключові слова

конвертер, продування, мартенівська піч, корольки, томасівський конвертер, металлошлакова емульсія, сталеплавильні процеси

Summary

Okhotsky V. B.

Small but precious... Measurements

The model of the formation of metal droplets in the slag phase of the steel bath.

Keywords

converter, blowing, open-hearth furnace, wrens, metalloslagovaya emulsion steel-making processes

Поступила 05.02.13